

УДК 517.928

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ БЕЛОГО ШУМА В СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

© Фирстова Н.М., Щепакна Е.А.

e-mail: shchepakna@yahoo.com

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Российская Федерация*

Анализ изменений в поведении динамических систем под воздействием случайных возмущений представляет большой интерес для исследователей в различных областях естествознания. Стохастические модели применяются для исследования различных физических, химических, биологических процессов, для которых характерно наличие случайных отклонений (всевозможные погрешности, шумы, нестабильность влияющих на процесс факторов). Стохастические флуктуации часто вызывают неожиданный результат в работе электронных генераторов и лазеров, приводят к смене динамических режимов функционирования химических и биологических систем.

В данной работе исследуется модифицированная динамическая модель химической кинетики [1] с точки зрения учета влияния флуктуаций среды на протекание химической реакции, которая описывается сингулярно возмущенными системами обыкновенных дифференциальных уравнений. Так как эти флуктуации носят случайный характер, то их учет в рамках предполагаемой модификации должен приводить к тому, что новая модель будет считаться стохастической. Естественно, что такое возмущение нужно вводить посредством аддитивной добавки в параметры стационарного процесса.

Вообще говоря, сингулярно возмущенные дифференциальные уравнения используются для моделирования процессов различной природы, например, в моделях химической кинетики наличие малого параметра связано с тем, что в химической системе одновременно происходят резко отличающиеся по скорости процессы.

Обычное предположение теории сингулярных возмущений основано на том, что основной функциональный определитель быстрой подсистемы отличен от нуля. Однако во многих прикладных задачах, в частности в моделях химических систем, это условие нарушается, и возникают критические ситуации. Нарушение этого условия может привести к возникновению эффекта затягивания потери устойчивости. Один из сценариев затягивания потери устойчивости в сингулярно возмущенных системах описывается траекториями-утками.

В работах [2,3] был проведен детальный анализ детерминированной модели с помощью методов теории сингулярных возмущений и численными методами. Было показано, что критический режим моделируется траекторией-уткой и что именно этот режим играет роль своеобразного водораздела между двумя основными типами режимов протекания реакции: устойчивым циклом и релаксационными колебаниями [4,5,6,7].

Для исследуемой в работе стохастической модели выполнен анализ индуцированных шумом переходов. Исследовано воздействие внешних возмущений на предельный цикл [8]. Найдена чувствительность цикла к шуму [9]. Показана зависимость порогового значения интенсивности шума от управляющего параметра

системы [10]. Получено значение критической интенсивности шума, при которой колебания малой амплитуды преобразуются в колебания смешанного типа [11]. Найдено критическое значение шума, отвечающее переходу от траектории–утки к релаксационным колебаниям в модели [12]. Показано, что увеличение интенсивности случайных возмущений может привести к значительным изменениям режимов в модели вплоть до их разрушения.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Самарской области в рамках научного проекта No 16-41-630529 p_a и Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках программы повышения конкурентоспособности Самарского университета (2013 – 2020).

Библиографический список

1. Koper, M.T.M. Instabilities and oscillations in simple models of electrocatalytic surface reactions. [Text]/ M.T.M. Koper, J.H. Sluyters. Journal of Electroanalytical Chemistry. – 1994. – №371(1), – PP. 149-159.
2. Фирстова Н.М. Исследование критических явлений в модели электрохимического реактора [Текст]/ Н.М. Фирстова. Вестник Самарского государственного университета. – 2013. – Т. 110(9/2). – С.221-226.
3. Firstova, N.M. Study of oscillatory processes in the one model of electrochemical reactor [Text]/ E.A. Schepakina, N.M. Firstova. CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Vol. 1638, – PP. 731-741. DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-731-741.
4. Щепакина, Е.А. Сингулярно возмущенные модели горения в многофазных средах. [Текст]/ Е.А. Щепакина. Сибирский журнал индустриальной математики. – 2003. – Т. 6, № 4. – С. 142-157.
5. Щепакина, Е.А. Интегральные поверхности со сменой устойчивости и траектории–утки [Текст]/ Е.А.Щепакина, В.А. Соболев. Известия РАЕН.Математика. Математическое моделирование. Информатика и управление. –1997. –Т. 1, № 3. – С. 151–175.
6. Щепакина, Е.А. Притягивающе-отталкивающие интегральные поверхности в задачах горения [Текст]/ Е.А. Щепакина. Математическое моделирование. – 2002. – Т. 14, № 3. – С. 30–42.
7. Соболев В.А. Редукция моделей и критические явления в макрокинетики. [Текст]/ Е.А. Щепакина, В.А. Соболев. М.: Физматлит, 2010. – 319 с.
8. Башкирцева И.А. Анализ стохастических аттракторов при бифуркации точка покоя – цикл [Текст] / И.А. Башкирцева, Т.В. Перевалова. Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 10. – С. 53–69.
9. Bashkirtseva I.A. Stochastic sensitivity analysis: theory and numerical algorithms [Text] / I.A. Bashkirtseva. IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng. – 2017. – Vol.192. 012024.
10. Bashkirtseva I.A. Sensitivity analysis of the stochastically and periodically forced Brusselator [Text] / I.A. Bashkirtseva, L.B. Ryashko. Physica A. – 2000. – Vol.278. – P. 126–139.
11. Bashkirtseva I.A. Stochastic sensitivity analysis of noise-induced excitement in a prey–predator plankton system [Text] / I.A. Bashkirtseva, L.B. Ryashko. Frontiers in Life Science. – 2011. – Vol. 5. – P. 141.
12. Berglund N. Hunting french ducks in a noisy environment [Text] / N. Berglund, B. Gentz, C. Kuehn. Journal of Differential Equations. – 2012. – Vol. 252 (9). – P. 4786–4841.